

地下储罐爆炸事故源强估算

周家红, 许开立

(东北大学 资源与土木工程学院, 沈阳 110004)

摘要: 从能量释放的角度出发, 以爆炸理论为基础, 利用爆破技术中已得出的结论, 着重研究地下储罐爆炸事故源强的估算方法。确定各种伤害效应的安全距离, 为预防事故和安全评价提供理论依据。

关键词: 地下储罐; 爆炸事故; 源强

中图分类号: X933

文献标识码: A

Evaluation of source intensity of underground tank explosion accident

ZHOU Jia-hong, XU Kai-li

(School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: In the view of energy release, based on explosion theory, the evaluation method of source intensity of underground tank explosion is studied by the conclusion of exploring. The paper calculates the safe distance of each damage effect and supplies the theoretical basis for preventing accident and safety assessment.

Key words: underground tank; explosion accident; source intensity

地上储罐爆炸事故源强估算早已有很多专家研究过, 并形成了系统的算法, 而地下储罐爆炸事故源强如何尚需进行研究, 本文就对这方面进行研究。地下储罐是指储罐直接埋在地下或设置在地下室里。地下储罐爆炸事故的源强的估算是指对其爆炸能量及危害程度的估算, 具体指地下储罐爆炸后, 产生的爆炸冲击波、地震效应等后果的影响范围的估算。

1 研究方法

现有的对储罐爆炸源强估算的方法大都是对地上储罐爆炸事故的危险性进行评价, 估算地上储

罐爆炸的后果影响范围。如易燃、易爆、有毒重大危险源评价法、重大事故后果分析方法、火灾爆炸指数法等。但是地上的储罐爆炸与地下储罐爆炸的源强是不同的。当地下储罐爆炸时, 周围的土壤要吸收一部分爆炸能量, 爆炸的影响范围比较小, 但由于地质条件、地理结构的不同, 建立源强估算模型比较困难, 需要大量实验和理论研究。

本文从能量释放的角度出发, 以岩土中的爆炸理论为基础, 利用爆破技术中已得出的结论, 来研究地下储罐爆炸源强的估算方法。目前岩土爆炸理论多用于军事研究, 而爆破技术多用工程爆破, 把二者运用于安全评价和安全管理还没有, 作者就是从这个角度出发, 对地下储罐爆炸事故源强进行估算。

爆炸现象分为两个阶段: 一是某形式的能量以一定方式的转为压缩能; 二是物质有压缩状态膨胀做机械功, 引起附近介质的变形破坏的移动。故必

收稿日期: 2005-10-10

基金项目: “地下储罐爆炸事故源强估算方法研究”课题资助

须讨论爆炸释放的能量和影响的距离及损害程度。

1.1 爆炸能量的计算

采用 TNT 当量法, 将其他易燃、易爆物质转化成相对应的 X 千克当量 TNT, 来描述爆炸事故的威力, 即能量释放程度(爆炸能量)^[1]。认为某次爆炸事故造成的破坏状况与 X 千克 TNT 爆炸造成的破坏状况相当。就可以利用长时间以来军事上积累的大量的 TNT 药量与目标破坏程度之间关系的试验数据, 计算出危害程度。

$$W_{TNT} = \alpha \frac{Q_f}{Q_{TNT}} W_f \tag{1}$$

式中: W_{TNT} —蒸气云的 TNT 当量, kg;
 α —蒸气云的当量系数, 通常取 4%;
 W_f —蒸气云爆炸中燃烧掉的总质量, kg;
 q_f —燃料的燃烧热, MJ/kg;
 Q_{TNT} —TNT 的爆炸热, MJ/kg。

根据蒸气云爆炸上下极限, 计算出不同的蒸气云的爆炸 TNT 当量, 确定相应的安全距离, 进而来估算其爆炸事故的源强。

1.2 爆炸冲击波超压和爆炸振动速度的计算公式

G. M 莱克霍夫在砂质亚粘土中做了多次爆炸试验, 得到的爆炸冲击波超压和爆炸振动速度分别与距离的关系式^[1]。

莱克霍夫对于砂质土壤中的冲击波超压, 有

$$\Delta p_m = 8 \left(\frac{R}{\sqrt[3]{W_{TNT}}} \right)^{-3} \tag{2}$$

式中: Δp_m —爆炸冲击波超压, kgf/cm²;
 R —爆心到所研究点的距离, m;
 W_{TNT} —蒸气云的 TNT 当量, kg。

爆炸振动速度为:

$$v_m = 4.72 \left(\frac{R}{\sqrt[3]{W_{TNT}}} \right)^{-2.08} \tag{3}$$

式中: v_m —爆炸冲击波超压, m/s;
 R —爆心到所研究点的距离, m;

W_{TNT} —蒸气云的 TNT 当量, kg。

1.3 爆炸伤害效应

(1) 冲击波准则

超压准则认为, 爆炸波是否对目标造成伤害由爆炸波超压唯一决定, 只有当爆炸波超压大于或等于某一临界值时, 才会对目标造成一定的伤害。否则, 爆炸波不会对目标造成伤害。

研究表明, 超压准则并不是对任何情况都适用。相反, 它有严格的适用范围, 即爆炸波正相持续时间必须满足如下条件: $\omega T > 40$, (ω 为目标响应角频率(s⁻¹), T 为爆炸波持续时间(s))。根据超压准则所确定的人员伤害程度及建筑物破坏程度范围见表 1 和表 2^[2,3]。

(2) 爆炸地震的伤害效应

地下储罐爆炸会产生地震效应, 其破坏程度是用振动速度来形容, 下面给出爆炸地震的振动速度对人员和建筑物的破坏关系见表 3 和表 4^[4]。

2 实例分析与结果

某加油站有一个 50m³ 的埋地汽油储罐, 罐内汽油蒸气形成爆炸性混合气体(汽油爆炸的极限为 1.3%~ 6.0%), 遇到焊火或高温等火源发生爆炸。这里仅以空罐内混合气体达到爆炸极限为例计算。假设整个储罐为一个点爆炸源, 对其爆炸事故的源强进行估算^[5]。

运用莱克霍夫的砂质土壤中的冲击波超压计算公式, 根据超压准则, 估算出不同程度的影响半径和超压之间关系, 见图 1。另外, 也对振动速度进行估算, 并得出振动速度与影响半径的关系, 见图 2。从图 1 和图 2 中可以看出 50m³ 的覆土汽油储罐, 空罐内充满爆炸混合性气体发生蒸气云爆炸时的影响范围, 根据相关伤害准则, 划分出不同程度的影响半径, 为预测事故, 编制应急救援预案提供理论依据。

表 1 人员伤害超压准则

序号	伤害程度	超压 $\Delta P \times 10^5$ (Pa)	伤害情况
1	轻微	0.2~ 0.3	轻微挫伤
2	中等	0.3~ 0.5	听觉、气管损伤、中等挫伤、骨折
3	严重	0.5~ 1	内脏严重挫伤, 可能造成死亡
4	极严重	> 1	大部分人死亡

表 2 爆炸波超压对建筑物的破坏等级

破坏等级	建筑物被破坏的程度	超压
		$\Delta P \times 10^5 (\text{Pa})$
1	钢架桥位移	> 2.0
2	防震建筑物破坏或严重破坏	1.0~ 2.0
3	钢骨架或轻型钢筋混凝土建筑物破坏	0.5~ 1.0
4	不含混凝土、厚 0.2~ 0.3m 的砖板因剪切或弯曲而破裂,房屋几乎完全破坏	0.3~ 0.5
5	砖砌房屋 50% 被破坏,无框架、自约束的钢板建筑完全破坏,油罐破裂	0.15~ 0.3
6	房屋的一部分完全破坏,无法继续居住	0.07~ 0.15
7	房屋结构受到轻微破坏,大小窗玻璃经常震碎	0.02~ 0.07
8	玻璃开始破裂	0.01

表 3 振动的速度和加速度对人的作用关系

振动对人的作用特征	加速度(mm/s^2)	速度(mm/s)
无感觉	10	0.16
轻微感觉	10~ 24	0.16~ 6.4
较大的感觉	126~ 400	2.1~ 6.4
有害的长期谐振动	1000	16
容许的爆破震动	1000	16

表 4 振动速度对建筑物的破坏关系

质点震动速度 (cm/s)	由于爆破震动所造成的破坏情况	
	对建筑物的结构	对地表
< 2.5	无损坏	无变化
2.5~ 5.0	简易房屋轻微损坏	高陡边坡上碎石、砾石少量塌落
5.0~ 10	简易房屋损坏,一般房屋轻微损坏。地下坑道二帮松动,小石块少量震落	陡坡上的孤石、悬石位移,滚落。覆盖层中出现小的裂隙,堆积层与基岩交界处产生裂纹
10~ 25	简易房屋破坏,一般房屋损坏。砂浆地面出现裂痕。地下坑道局部出现塌方,涵洞伸缩缝,地下管道接头可能轻微变位	土夹石边坡有较多的塌方,岩石边坡个别塌落。沙土、弃石开始塌溜。地表出现裂缝,临空面出岩石原有裂隙扩张,节理面轻微错动
25~ 50	建筑物严重破坏。地下坑道严重塌方,甚至振垮堵死。涵洞、地下管道毁坏。混凝土结构物出现破坏	土夹石边坡大量坍塌,岩石边坡少量塌方。地表有较多的裂缝,靠近陡坎处出现大裂缝,公路路面局部破坏,岩石顺层理、节理面错动、张开、挤压
> 50	建筑物严重破坏。地下坑道严重塌方,甚至振垮堵死。涵洞、地下管道毁坏。混凝土结构物出现破坏	顺层理面大块的岩石可能崩落,地表割裂,有很多大裂缝。公路严重破坏。基石露头产生裂纹,部分岩石破碎,大块坚石位移

表 5 是分别利用砂质土壤中的冲击波超压计算公式和空气中爆炸冲击波计算公式进行估算,得到不同伤害程度的半径。从比例项中可以看出,随着伤害程度的减轻,砂质土壤中爆炸与空气中爆炸的影响半径之比成递减规律。这是因为在土壤中爆炸,周围的土壤要吸收一部分爆炸能量,爆炸波在地下衰减的较快,对地面影响范围小。就爆炸后果来看,储罐设置在地下要比在地上安全,并且证明了对地下储罐爆炸事故源强的估算应该采用莱克霍夫公式估算,不能采用空气中爆炸事故源强估算公式估算,否则误差会很大。

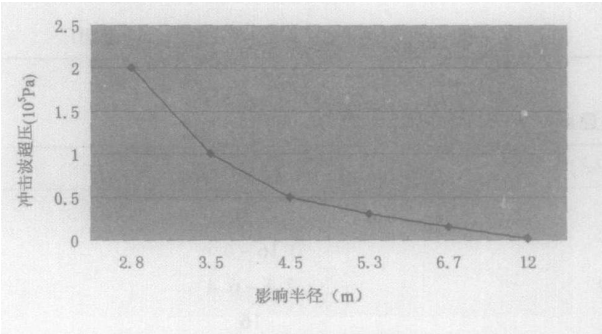


图 1 冲击波超压与影响半径的关系图

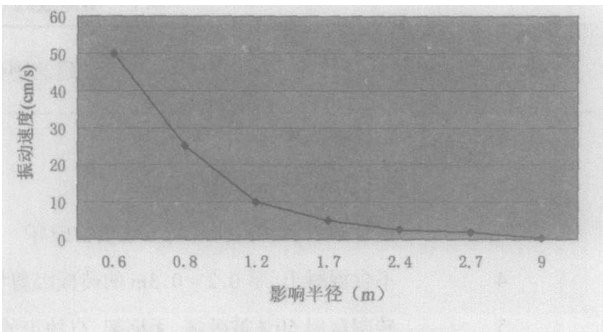


图 振动速度与影响半径的关系图

3 结论

通过本文的研究可知,地下储罐爆炸事故源强的估算应采用莱克霍夫公式,不能用地面上储罐爆炸事故源强估算的方法。由于储罐埋在地下爆炸时,土壤会吸收一部分爆炸能量,使爆炸冲击波衰减很快,爆炸后的影响范围比地上爆炸小,随着伤害程度的减轻,砂质土壤中爆炸与空气中爆炸的影响半径之比成递减规律。

表 5 储罐设置在不同位置发生爆炸事故的影响半径的比较

爆炸地点	影响半径(m)						
	人员伤害情况				建筑物损坏况		
	死亡 半径	重伤 半径	轻伤 半径	安全 距离	严重 损坏	轻微 损坏	安全 距离
砂质土壤中爆炸	3. 5	5. 3	6. 1	7. 7	8. 6	13. 1	16. 5
空气中爆炸	4. 7	9. 2	14. 3	18. 9	24. 5	68. 0	127. 0
比例	74. 5%	57. 6%	46. 9%	40. 7%	35. 1%	19. 3%	12. 9%

根据相关准则,可以确定相应的安全距离,为预测事故,编制应急救援预案提供理论依据。同时对安全计划、安全评价、安全管理及安全决策具有参考价值。

参考文献

[1] 李翼祺,马素贞.爆炸力学[M].北京:科学出版社,1992

[2] 宇德明.易燃、易爆、有毒危险品储运过程定量风险评价[M].北京:中国铁道出版社,2000

[3] 吴宗之,高进东,魏利军.危险评价方法及其应用[M].北京:冶金工业出版社,2001

[4] 陈华腾,钮强,谭胜禹,张庆书编著.爆炸计算手册[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1991

[5] 周家红.地下储罐爆炸事故源强估算方法研究[D].沈阳:东北大学硕士论文,2004.